

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 09111403
PUBLICATION DATE : 28-04-97

APPLICATION DATE : 11-10-95
APPLICATION NUMBER : 07289381

APPLICANT : TOA STEEL CO LTD;

INVENTOR : MAJIMA HIROSHI;

INT.CL. : C22C 38/00 C21D 6/00 C21D 9/32 C22C 38/44 C22C 38/46 C22C 38/50 C22C 38/58 C23C 8/22 F16H 55/06

TITLE : LOW STRAIN TYPE CARBURIZED AND QUENCHED STEEL STOCK FOR GEAR

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To determine the chemical composition of a steel stock for gear, minimal in strain.

SOLUTION: A steel stock, having a composition which consists of, by weight, 0.10-0.35% C, 0.50-2.5% Si, 0.20-2.50% Mn, 0.01-2.50% Cr, 0.01-0.70% Mo, 0.01-2.0% Ni, and the balance iron with inevitable impurities and in which Ac_3 , represented by equation, $Ac_3=920-203\sqrt{C}+44.7Si+31.5Mo-30Mn-11Cr+40Al-15.2Ni+13.1W+104V+40Ti$, is regulated to 850-960°C and also DI, represented by equation, $DI=7.95\sqrt{C(1+0.70Si)(1+3.3Mn)(1+2.16Cr)(1+3.0Mo)(1+0.36Ni)(1+5.0V)}$, is regulated to 30-250mm, is used. This steel stock is carburized at 850-1,000°C, hardened at 800-950°C, and tempered, by which the noncarburized zone of the steel stock is provided with dual-phase structure consisting of martensite containing 10-70area% ferrite. Further, one or more kinds selected from the group consisting of 0.01-0.70% W and 0.01-1.0% V and/or the group consisting of 0.005-2.0% Al, 0.005-1.0% Ti, 0.005-0.50% Nb, and 0.005-0.50% Zr are added. It is desirable to regulate DI to 30-150mm.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-111403

(43)公開日 平成9年(1997)4月28日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
C 22 C 38/00	301		C 22 C 38/00	301N
C 21 D 6/00			C 21 D 6/00	D
9/32			9/32	A
C 22 C 38/44			C 22 C 38/44	
38/46			38/46	

審査請求 有 請求項の数 5 FD (全 16 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号	特願平7-289381	(71)出願人	000109820 トーア・スチール株式会社 東京都千代田区五番町6番地2
(22)出願日	平成7年(1995)10月11日	(72)発明者	江口 豊明 宮城県仙台市泉区鶴が丘4-11-28
		(72)発明者	馬島 弘 宮城県仙台市青葉区米ヶ袋一丁目1番6号
		(74)代理人	弁理士 潮谷 奈津夫

(54)【発明の名称】 低歪み型浸炭焼入れ歯車用鋼材

(57)【要約】

【課題】 歪みが極めて小さい歯車用鋼材の化学成分組成を決定する。

【解決手段】 wt.%で、C:0.10~0.35%, Si:0.50~2.5%, Mn:0.20~2.50%, Cr:0.01~2.50%, Mo:0.01~0.70%, Ni:0.01~2.0%, 残部: 鉄及び不可避不純物で、(1)式: $Ac_3 = 920 - 203\sqrt{C} + 44.7Si + 31.5Mo - 30Mn - 11Cr + 40Al - 15.2Ni + 13.1W + 104V + 40Ti$ --- (1) による Ac_3 が, 850~960 °C、(2)式: $D_I = 7.95\sqrt{C}(1+0.70Si)(1+3.3Mn)(1+2.16Cr)(1+3.0Mo)(1+0.36Ni)(1+5.0V)$ --- (2) による D_I が30~250mm の成分組成の鋼材に、850~1000で浸炭, 800~950で焼入れをし、焼戻しをし、鋼材の非浸炭部が10~70面積%のフェライトを含むマルテンサイトよりなる二相組織の鋼材にする。更に, W:0.01~0.70%, V:0.01~1.0%の群、及び、またはAl:0.005~2.0%, Ti:0.005~1.0%, Nb:0.005~0.50%, Zr:0.005~0.50wt.%の群の内1種以上を付加する。望ましくは、 D_I を30~150mm にする。

【効果】 浸炭焼入歪みが1.0%以下になり、歯形修正不要でコストが低減する。

【特許請求の範囲】

【請求項1】炭素(C) : 0.10~0.35wt.%、
 シリコン(Si) : 0.50~2.5 wt.%、
 マンガン(Mn) : 0.20~2.50wt.%、
 クロム(Cr) : 0.01~2.50wt.%、
 モリブデン(Mo) : 0.01~0.70wt.%、および、

$$Ac_3 = 920 - 203 \sqrt{C} + 44.7Si + 31.5Mo - 30Mn - 11Cr + 40Al - 15.2Ni + 13.1W + 104V + 40Ti \quad (1)$$

によって算出される Ac_3 点パラメーターが、850~960°Cの範囲内にあり、

$$D_I = 7.95\sqrt{C(1+0.70Si)(1+3.3Mn)(1+2.16Cr)(1+3.0Mo)(1+0.36Ni)(1+5.0V)} \quad (2)$$

によって算出される理想臨界直径(D_I)が30~250mmの範囲内にある化学成分組成を有する鋼材であって、前記鋼材に対して、温度850~1000°Cの範囲内で浸炭処理を施し、次いで、温度800~950°Cの範囲内で焼入れ処理を施し、そして、次いで、焼戻し処理を施し、このようにして得られた前記鋼材の非浸炭部の組織が、フェライトを10~70面積%含むマルテンサイトよりなる二相組織であることを特徴とする、低歪み型浸炭焼入れ歯車用鋼材。

【請求項2】下記化学成分組成からなる群：

タンクスチール(W) : 0.01~0.70wt.%、および、
 バナジウム(V) : 0.01~1.0 wt.%

から選んだ少なくとも1つの元素を、更に付加して含有している、請求項1記載の低歪み型浸炭焼入れ歯車用鋼材。

【請求項3】下記化学成分組成からなる群：

アルミニウム(Al) : 0.005~2.0 wt.%、
 チタン(Ti) : 0.005~1.0 wt.%、
 ニオブ(Nb) : 0.005~0.50wt.%、および、
 ジルコニウム(Zr) : 0.005~0.50wt.%

から選んだ少なくとも1つの元素を、更に付加して含有している、請求項1記載の低歪み型浸炭焼入れ歯車用鋼材。

【請求項4】下記化学成分組成からなる群：

タンクスチール(W) : 0.01~0.70wt.%、および、
 バナジウム(V) : 0.01~1.0 wt.%

から選んだ少なくとも1つの元素、並びに、下記化学成分組成からなる群：

アルミニウム(Al) : 0.005~2.0 wt.%、
 チタン(Ti) : 0.005~1.0 wt.%、
 ニオブ(Nb) : 0.005~0.50wt.%、および、
 ジルコニウム(Zr) : 0.005~0.50wt.%

から選んだ少なくとも1つの元素を、更に付加して含有している、請求項1記載の低歪み型浸炭焼入れ歯車用鋼材。

【請求項5】前記理想臨界直径(D_I)は、30~150 mmの範囲内にある、請求項1~請求項4の内のいずれか1つに記載の低歪み型浸炭焼入れ歯車用鋼材。

ニッケル(Ni) : 0.01~2.0 wt.%

を含有し、

残部 : 鉄および不可避不純物からなる化学成分組成を有し、
 しかも、下記(1)式：

$$\text{下記(2)式:}$$

$$\text{【発明の詳細な説明】}$$

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、例えば、自動車、建設機械、産業機械等の歯車用鋼材として好適な、浸炭焼入れ時の歪み量が極めて小さい、低歪み型浸炭焼入れ歯車用鋼材に関するものである。

【0002】

【従来の技術】例えば、最近の自動車においては、運転時における静粛性が著しく向上しているが、それにもかかわらず運転時に騒音が生ずる。これは、主として歯車から発生するギヤノイズによるものである。ギヤノイズは、歯車の噛み合いの不具合によって発生するものであり、このような歯車の噛み合いの不具合は、所定形状に成形された歯車半製品に対し、その表面を硬化するために浸炭焼入れまたは浸炭窒化焼入れ（以下、浸炭焼入れと総称する）処理を施した時に生ずる歪みの結果発生する。

【0003】即ち、歯車用鋼材に対する浸炭焼入れ時に、マルテンサイトの生成による変態応力、即ち、オーステナイト組織からマルテンサイト組織に変態する時に生ずる体積膨張に起因する応力が発生するため、鋼材に歪みが生ずることを避けることができず、その結果、歯車の寸法精度を高く維持することができないためにギヤノイズが発生する。特に、自動車のトランスミッション用ギヤにおいては、騒音に対して極めて厳しい制限があるにもかかわらず、その形状が小さく且つ肉厚が薄いため、ギヤ内部の組織はベイナイトを一部含むマルテンサイト主体の組織になっているために、浸炭焼入れ時に歪みが生じやすく、これが歯車騒音の最大の発生原因になっている。

【0004】そこで、歯車の寸法精度の向上を図るために、浸炭焼入れされた歯車半成品を機械切削加工して、浸炭層を部分的に除去し、焼入れ歪み量を低減させる歯形修正処理を施す方法がある。しかしながら、このような機械研削による歯形修正では、製造工程が増えることにより生産性が大幅に低下するのみならず、機械研削加工により製造コストが大幅に高騰するうえ、表面硬さや残留応力にむらが生ずるので、品質上からも問題があ

る。

【0005】上述した点から、歯車用鋼材は、浸炭焼入れ後、歯形修正処理を施さずに使用されることが多く、従って、浸炭焼入れされた歯車半成品の寸法精度向上のために、焼入れ歪みを低減することが必要とされている。このような浸炭焼入れ歪み量は、鋼材の焼入れ性によって大きく影響される。更に、浸炭焼入れは、通常約920℃の高温で行われるので、浸炭中にオーステナイト結晶粒が粗大化することも、歪み発生原因の一つとされている。更に、最近では、浸炭時間を短縮して生産性を向上させるために、浸炭温度を高め、これに伴い焼入温度もたかめる方法が試行されている。

【0006】歯車用鋼材の焼入れ歪み量を低減する方法については、従来から種々の研究がなされており、例えば、焼入れ性がジョミニーバンドの下限になるように鋼材の化学成分組成を特定の狭い範囲内にコントロールして焼入れ性を低く抑える方法が知られ、また、特開平4-247848号公報および特開昭59-123743号公報等は、浸炭および保温中の結晶粒粗大化を抑制するために、鋼中に、Al、Ti、Nb等の結晶粒微細化元素を適正量添加することにより結晶粒を微細に調整する方法(以下、先行技術1という)を開示している。

【0007】また、特開平5-70925号公報は、Si、Mn、Cr、MoおよびV等の化学成分組成を特定範囲に限定した鋼からなる歯車半成品に対し浸炭窒化処理を施した後、これを歯表面部即ち浸炭窒化部(以下、同じ)のAr₁変態点以下の温度域まで冷却する。次いで、歯表面部のAr₃変態点以上で且つ歯内部即ち非浸炭部(以下、同じ)のAr₁変態点以下である温度域に保持することにより、歯表面部をオーステナイト状態に保つつつ歯内部を微細なフェライト・パーライトにし、次いで、焼入れをし、そして、焼戻しをすることにより、歯表面部の浸炭窒化部をマルテンサイトにし、既に変態を終了している歯内部を焼きの入っていないフェライトと微細パーライトに維持するという方法(以下、先行技術2という)が開示されている。図4に、歯車の歯内部、歯表面部および歯車芯部を説明する概略斜視図を示す。

【0008】また、例え特開平3-260048号公報は、タフトライドやガス窒化、ガス軟窒化などの低温で行なう窒化処理により熱処理歪みの低減を図る方法(以下、先行技術3という)を開示している。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した各先行技術には、下記問題がある。先行技術1は、結晶粒を微細に調整することにより浸炭および保温中の結晶粒粗大化を抑制することができるので、歯内部における焼入れ歪みのバラツキを小さくすることができ、且つ、焼入れ歪みを均一化することができるという利点を有する。しかしながら、先行技術1は、マルテンサイト変態に伴う歪みの発生を抑制するのに限界があり、歪み

を十分に小さくすることができないという問題を有する。

【0010】先行技術2は、歯内部をフェライト・パーライト組織にすることによりマルテンサイト発生に伴う体積膨張による焼入れ歪みを軽減することができるという利点を有する。しかしながら、先行技術2は、歯内部即ち非浸炭部がフェライト・パーライト組織であるために、十分な韌性を確保することが困難であり、且つ、熱処理温度を厳格に管理しなければならぬので、熱処理操作が複雑となり、生産性を阻害するのみならず、コスト高になるという問題を有する。

【0011】先行技術3は、表面に硬い窒素化合物層を形成させることができるので、良好な耐磨耗性を有する表面硬化層を得ることができ、また、500~700℃の低温域で処理するので処理部品の変形が小さいという利点を有する。しかしながら、先行技術3は、硬化層深度が浅く、十分な硬化層を得るには50~100時間にも及ぶ長時間の窒化処理が必要であるため、生産性を阻害するのみならず、コスト高になるという欠点を有する。

【0012】従って、この発明の目的は、上述した問題を解決し、通常の効率的な浸炭処理をし、そして、焼入れおよび焼戻し処理をした後の歪みの発生量が極めて小さく、従って、寸法精度の高い歯車が得られ、その結果、使用時にギヤノイズが発生しない、自動車、建設機械、産業機械等の歯車を、容易に且つ効率的に熱処理を行ない経済的に製造することができる、低歪み型浸炭焼入れ歯車用鋼を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明者等は、上述した問題を解決すべく鋭意研究を重ねた結果、下記知見を得た。

【0014】歯車用鋼材の浸炭焼入れ歪み量に影響を及ぼす主要因子は、オーステナイト組織がマルテンサイト組織に変態するときに生ずる体積膨張に起因する歪みにあることから、本発明者等は、焼入れ前の加熱時にオーステナイト組織中にフェライトを10~70%混在させ、浸炭焼入れ後の組織をフェライト・マルテンサイト二相組織とすることにより、焼入れ歪み量が劇的に低減することを見出した。

【0015】この発明においては、容易で且つ経済的な浸炭焼入れの熱処理条件で歯車を製造することができる鋼材を提供することも重要な目標の一つである。しかも、この発明の鋼材は、浸炭焼入れにより、マルテンサイト組織中にフェライトが混在する組織になることが必須要件である。従って、この発明の鋼材のAc₃変態温度は、通常の浸炭焼入れ温度領域よりも高くなっていることが必要である。

【0016】そこで、鋼中Si、Mn、Cr、Mo、Al、V等の元素の、Ac₃変態温度に及ぼす影響について詳細に検討

した結果、これらの元素の含有量を適正に限定することにより、通常の浸炭条件でも容易にフェライト・マルテンサイト二相組織が得られ、且つ、フェライト強化元素を適正量添加することにより、歯内部即ち非浸炭部が強化され、且つ、歯表面部の疲労強度が向上するので、歯元の疲労強度を低下させることなく焼入れ歪み量を劇的に低減し得ることを知見した。

$$Ac_3 = 920 - 203 \sqrt{C + 44.7Si + 31.5Mo - 30Mn - 11Cr + 40Al - 15.2Ni + 13.1W + 104V + 40Ti} \quad (1)$$

によって算出される Ac_3 点バラメーターが、850 ~ 960

$$D_1 = 7.95 \sqrt{C(1+0.70Si)(1+3.3Mn)(1+2.16Cr)(1+3.0Mo)(1+0.36Ni)(1+5.0V)} \quad (2)$$

によって算出される理想臨界直径(D_1)が30~250mmの範囲内にある化学成分組成を有する鋼材であって、前記鋼材に対して、温度850~1000°Cの範囲内で浸炭処理を施し、次いで、温度800~950°Cの範囲内で焼入れ処理を施し、そして、次いで、焼戻し処理を施し、このようにして得られた前記鋼材の非浸炭部の組織が、フェライトを10~70面積%含むマルテンサイトよりなる二相組織であることに特徴を有するものである。なお、この発明において、上記(1)式および(2)式により Ac_3 点バラメーターおよび理想臨界直径(D_1)を算出するとき、(1)式および(2)式の右辺には所定の成分元素に係る項があるが、化学成分組成については限定のない成分元素であるAl、W、VおよびTiの含有量は0(零)であるとして算定するものとする。以下、請求項2~5記載の発明についてもこれと同様とする。また、後述する実施例での比較鋼および従来鋼についてもこれと同様とする。

【0018】請求項2記載の発明の低歪み型浸炭焼入れ歯車用鋼材は、請求項1記載の歯車用鋼材に、更に付加的に、下記化学成分組成からなる群：

タンゲステン(W) : 0.01~0.70wt.%、および、
バナジウム(V) : 0.01~1.0 wt.%

から選んだ少なくとも1つの元素を含有しているものである。

【0019】請求項3記載の発明の低歪み型浸炭焼入れ歯車用鋼材は、請求項1記載の発明の歯車用鋼材に、更に付加的に、下記化学成分組成からなる群：

アルミニウム(Al) : 0.005 ~ 2.0 wt.%、
チタン(Ti) : 0.005 ~ 1.0 wt.%、
ニオブ(Nb) : 0.005 ~ 0.50wt.%、および、
ジルコニウム(Zr) : 0.005 ~ 0.50wt.%

から選んだ少なくとも1つの元素を含有しているものである。

【0020】請求項4記載の発明の低歪み型浸炭焼入れ歯車用鋼材は、請求項1記載の発明の歯車用鋼材に、更に付加的に、下記化学成分組成からなる群：

タンゲステン(W) : 0.01~0.70wt.%、および、
バナジウム(V) : 0.01~1.0 wt.%

【0017】この発明は、上記知見に基づいてなされたものであって、請求項1記載の発明の低歪み型浸炭焼入れ歯車用鋼材は、C : 0.10~0.35wt.%、Si : 0.50~2.5wt.%、Mn : 0.20~2.50wt.%、Cr : 0.01~2.50wt.%、Mo : 0.01~0.70wt.%、および、Ni : 0.01~2.0 wt.%を含有し、残部：鉄および不可避不純物からなる化学成分組成を有し、しかも、下記(1)式：

℃の範囲内にあり、下記(2)式：

$$D_1 = 7.95 \sqrt{C(1+0.70Si)(1+3.3Mn)(1+2.16Cr)(1+3.0Mo)(1+0.36Ni)(1+5.0V)} \quad (2)$$

から選んだ少なくとも1つの元素、並びに、下記化学成分組成からなる群：

アルミニウム(Al) : 0.005 ~ 2.0 wt.%、
チタン(Ti) : 0.005 ~ 1.0 wt.%、
ニオブ(Nb) : 0.005 ~ 0.50wt.%、および、
ジルコニウム(Zr) : 0.005 ~ 0.50wt.%

から選んだ少なくとも1つの元素を含有しているものである。

【0021】請求項5記載の発明の低歪み型浸炭焼入れ歯車用鋼材は、請求項1から4記載の発明の低歪み型浸炭焼入れ歯車用鋼材のいずれか1つにおいて、前記理想臨界直径(D_1)が、30~150 mmの範囲内にあることに特徴を有するものである。

【0022】

【発明の実施の形態】この発明によれば、 Ac_3 変態温度を高め、且つ焼入れ性を向上させる元素であるSi、MoおよびV、並びに、 Ac_3 変態温度を高めるAl、TiおよびWの含有量を増加させることによって、浸炭焼入れ処理により容易にフェライト・マルテンサイト二相組織とすることができ、フェライトがマルテンサイトの膨張歪みを吸収することによって、焼入れ歪み量が大幅に減少し、更に、焼入れ時の歯車の芯部(以下、「歯車芯部」という、図4参照)の硬さも十分に確保できるので、従来鋼と遜色のない疲労強度が得られる。

【0023】また、自動車の歯車においては、歯元疲労強度の向上を目的として、ショットピーニング処理が施されることが多いが、本発明鋼材によれば、表面の粒界酸化層の形成が抑制され、且つ、焼入れ不良組織が発生しないので、ショットピーニング処理を施した場合、表面粗さが劣化することなく歯元疲労強度が増加する。更に、Si、Mo、WおよびVによって焼戻し軟化抵抗が増大して面疲労強度が向上する。

【0024】このように、この発明においては、鋼材中の各元素は種々の作用効果を發揮し、鋼材に含有されるべき化学成分元素は必須成分と選択成分からなる。そして、選択成分を2グループに分けた。選択成分としてのWおよびVの作用効果の内、焼入れ性向上において共通するので第1のグループにし、また、Al、Ti、N

および Zr を結晶粒微細化による焼入れ歪み抑制において共通するので第2のグループにした。

【0025】次に、この発明の浸炭焼入れ歯車用鋼材の化学成分組成を、上述した範囲内に限定した理由について、以下に述べる。

(1) 炭素(C)

炭素は、浸炭焼入れによる歯車芯部の強度を保証する上で必要な基本的元素であり、その作用を發揮させるためには、0.10 wt.%以上含有していることが必要であり、0.10 wt.%未満では、有効な浸炭硬化層深さを得るためにには長時間要するので工業的には不可である。しかしながら、炭素含有量が0.35 wt.%を超えると韌性の劣化および被削性の低下を招く。従って、炭素含有量を、0.10~0.35%の範囲内に限定すべきである。

【0026】(2) シリコン(Si)

シリコンは、この発明において下記の通り重要な役目を果たす元素である。即ち、シリコンは、表面層の粒界酸化の防止に有効であり、フェライト形成元素であり、 Ac_3 変態点を高めるのに有効であり、且つ、比較的安価な元素である。更に、焼戻し軟化抵抗を増大させて、面疲労強度を向上させる。しかしながら、シリコン含有量が0.50 wt.%未満では、浸炭処理時に浸炭ガス中に不可避的に存在する微量酸素と結合する表層のシリコン濃度が低過ぎるために、上記微量酸素が鋼材の深部まで侵入して、粒界酸化層が著しく深くなる結果、疲労強度の低下を招く。一方、シリコン含有量が2.5 wt.%を超えて過剰になると、フェライト量が多くなり過ぎて、強度および韌性が低下するのみならず、 SiO_2 系の非金属介在物が増加する結果、逆に疲労強度の低下を招く。従って、シリコン含有量を、0.50~2.5 wt.%の範囲内に限定すべきである。

【0027】(3) マンガン(Mn)

マンガンは、焼入れ性を向上させ、そして歯車芯部の強度を確保するのに有効な元素であり、その作用を發揮させるためには、0.20 wt.%以上含有させることが必要である。しかしながら、マンガンには Ac_3 変態点を大きく低下させる作用があるので、その含有量が2.50 wt.%を超えて多量になると、マルテンサイトおよびフェライトの二相組織が得られなくなるだけでなく、硬度が高くなり過ぎ、被削性の劣化を招く。従って、マンガン含有量を、0.20~2.50 wt.%の範囲内に限定すべきである。

【0028】(4) クロム(Cr)

クロムは、マンガンと同様に焼入れ性を向上させるのに有効な元素であり、その作用を發揮させるためには0.01 wt.%以上含有させることが必要である。しかしながら、クロムにはマンガンと同様に Ac_3 変態点を低下させる作用があるので、その含有量が2.50 wt.%を超えて多量になると、マルテンサイトおよびフェライトの二相組織が得られなくなるだけでなく、硬度が高くなり過ぎ、被削性の劣化を招く。従って、クロム含有量を、0.01~

2.50 wt.%の範囲内に限定すべきである。

【0029】(5) モリブデン(Mo)

モリブデンは Ac_3 変態点を高めてフェライト生成に有効であり、更に、焼入れ性、焼戻し軟化抵抗性、韌性および疲労強度を向上させるのに有効な元素であり、その作用を發揮させるためには0.01 wt.%以上含有させることが必要である。しかしながら、モリブデンは極めて高価な元素であり、その含有量が0.70 wt.%を超えて添加しても上記効果は飽和して経済的な不利を招く。従って、モリブデン含有量を、0.01~0.70 wt.%の範囲内に限定すべきである。

【0030】(6) ニッケル(Ni)

ニッケルは、焼入れ性および韌性を高めるのに有効な元素であり、その作用を發揮させるためには、0.01 wt.%以上含有させることが必要である。しかしながら、ニッケル含有量が2.0 wt.%を超えて多量になると硬度が高くなり過ぎ、被削性が劣化する上、ニッケルは高価な元素であるために経済的な不利を招く。従って、ニッケル含有量を、0.01~2.0 wt.%の範囲内に限定すべきである。

【0031】(7) タングステン(W)

タングステンは、モリブデンと同様に Ac_3 変態点を高めてフェライト生成に有効であり、また、焼戻し軟化抵抗を増大させて、面疲労強度を向上させ、更に、韌性および歯元疲労強度を向上させるのに有効な元素であり、その作用を發揮させるためには、0.01 wt.%以上含有させることが必要である。しかしながら、タングステンも高価な元素であり、その含有量が0.70 wt.%を超えて添加しても、効果の割りには経済的な不利を招く。従って、タングステン含有量を、0.01~0.70 wt.%の範囲内に限定すべきである。なおタングステンとモリブデンを併用して添加する場合にはその総量は0.70 wt.%以下とするのが望ましい。0.70 wt.%を超える場合には浸炭焼入れ歪みが大きくなつて好ましくない。

【0032】(8) バナジウム(V)

バナジウムは、 Ac_3 変態点を高める作用が大きく、また焼入れ性を高め歯元疲労強度を向上させ、焼戻し軟化抵抗を増大させて、面疲労強度を向上させるのに有効な元素であり、且つ、炭窒化物を生成し結晶粒を微細化させ、焼入れ歪みを小さく抑える作用を有しており、その作用を發揮させるためには0.01 wt.%以上含有させることが必要である。しかしながら、バナジウム含有量が1.0 wt.%を超えると、その効果が飽和し経済的な不利を招くばかりか、炭窒化物の量が多くなつて韌性の低下を招く。従って、バナジウム含有量を、0.01~1.0 wt.%の範囲内に限定すべきである。

【0033】(9) アルミニウム(Al)

アルミニウムは窒素と結合して AlN を生成し、結晶粒を微細化させることにより、焼入れ時の歪みを小さくする上、韌性および疲労強度を向上させるのに有効な元素で

ある。このためには0.005wt.%以上含有していることが必要である。またアルミニウムはシリコンと同様にフェライト形成元素であり、経済的に A_{C_3} 変態点を大きく高めることができる。しかしながら、アルミニウム含有量が2.0wt.%を超えて多量になるとアルミニナ系介在物が増加して、韌性および疲労強度の低下を招く。従って、アルミニウム含有量を、0.005～2.0wt.%の範囲内に限定すべきである。また、シリコンとアルミニウムを併用する場合には、鋼の清浄性、韌性を確保するため、その総量は2.6wt.%以下に規制することが望ましい。

【0034】(10)チタン(Ti)

チタンもフェライト形成元素であり、 A_{C_3} 変態点を高める作用が大きく、またオーステナイト結晶粒を微細化するのに有効な元素であり、且つ、浸炭部および歯内部の降伏強度を高めて、疲労強度の向上に寄与する作用を有しており、その効果を発揮させるためには、0.005wt.%以上含有させることが必要である。しかしながら、チタン含有量が1.0wt.%を超えると、その効果が飽和し経済的な不利を招くばかりか、炭窒化物の量が多くなり過ぎて韌性の低下を招く。従って、チタン含有量を、0.005～1.0wt.%の範囲内に限定すべきである。

【0035】(11)ニオブ(Nb)

ニオブもオーステナイト結晶粒を微細化するのに有効な元素であり、その作用を発揮させるためには0.005wt.%以上含有させることが必要である。しかしながら、ニオブ含有量が0.50wt.%を超えると、その効果が飽和し経済的な不利を招くばかりか、炭窒化物の量が多くなり過ぎて韌性の低下を招く。従って、ニオブ含有量を、0.005

$$A_{C_3} = 920 - 203 \sqrt{C + 44.7Si + 31.5Mo - 30Mn - 11Cr + 40Al - 15.2Ni + 13.1W + 104V + 40Ti}$$

(1)

によって算出される A_{C_3} 点パラメーターを、850～960°Cの範囲内に限定すべきである。

【0039】(14)理想臨界直径(D_I)：理想臨界直径(D_I)は鋼の焼入れ性を表わす値である。一般的に、鋼材が鋼材製品として使用されるときに要求される鋼材

$$D_I = 7.95 \sqrt{C(1+0.70Si)(1+3.3Mn)(1+2.16Cr)(1+3.0Mo)(1+0.36Ni)(1+5.0V)}$$

(2)

により算出される理想臨界直径(D_I)値が30mm以上であることを必要とする。一方、上記理想臨界直径(D_I)値が250mmを超えると、オーステナイト組織中に混在しているフェライトによるマルテンサイトの変態歪みの吸収効果が無くなり、焼入れ歪みが大きくなる。従って、オーステナイト粒度番号を8番として、上記(2)式により算出される理想臨界直径(D_I)値が、30～250mmの範囲内になるように歯車の化学成分組成を限定すべきである。そして、焼入れ歪みを更に小さくするためには、その値を30～150mmの範囲内に限定することが望ましい。なお、オーステナイト粒度番号が8番以外のときには、その粒度番号に応じて上記(2)式の右辺の係数が定まるので、オーステナイト粒度番号に応じた

～0.50wt.%の範囲内に限定すべきである。

【0036】(12)ジルコニウム(Zr)

ジルコニウムもチタン、ニオブと同様にオーステナイト結晶粒を微細化するのに有効な元素であり、その作用を発揮させるためには0.005wt.%以上含有させることが必要である。しかしながら、ジルコニウム含有量が0.50wt.%を超えると、その効果が飽和し経済的な不利を招くばかりか、炭窒化物の量が多くなって韌性の低下を招く。従ってジルコニウム含有量を、0.005～0.50wt.%の範囲内に限定すべきである。

【0037】なお、本発明鋼中には、不可避不純物としてのP、CuおよびO含有量は、できるだけ低い方が望ましい。また、Nは結晶粒を微細化させる目的で、必要に応じて、0.20wt.%までは添加が許される。また被削性を向上させるために、必要に応じて、S、Pb、CaおよびSe等の快削元素を含有させててもよい。

【0038】(13) A_{C_3} 点パラメーター：従来の常法による浸炭処理における熱処理パターン例を、図5に示す。歯車用鋼材を920°Cで浸炭し、炭素を鋼の内部に拡散させた後、歪みを低減するため浸炭温度より低温の850°Cに保持し、次いで、オイル等で急冷して焼入れをする。従って、歯車用鋼材の下記(1)式によって算出される A_{C_3} 点パラメーターが850°C未満では、浸炭後に850°Cに保持しても、オーステナイト中にフェライトを確保することができない。一方、上記 A_{C_3} 点パラメーターが960°Cを超えると、オーステナイト中のフェライト量が過剰になり、歯車芯部の強度が不足する。従って、本発明鋼の下記(1)式：

(1)

製品のオーステナイト粒度番号は、8番であり、浸炭焼入れ歯車においても同じである。所望の疲労強度を確保するためには、オーステナイト粒度番号が8番のときの鋼材の理想臨界直径(D_I)の算出式である下記(2)式：

(2)

D_I の算出式を用いた算定値が、上述した範囲内になるよう歯車の化学成分組成を限定すべきである。

【0040】浸炭焼入れ温度について

次に、鋼材に対する浸炭温度は、容易に、且つ、効率的に浸炭処理を行なうことができる温度にすべきである。浸炭温度が850°C未満では、Cの拡散速度が遅く、所望の浸炭深さを得るのに長時間を要する。一方、浸炭温度が1000°Cを超えると、結晶粒が粗大化し易く、且つ、鋼材表面の酸化が著しくなる結果、面疲労特性が低下する。従って、浸炭温度を、850～1000°Cの範囲内に限定すべきである。

【0041】浸炭処理後に行なう焼入れ温度が、800°C未満では、上記浸炭炉の炉温をその温度まで低下させ

るのに長時間を要する。一方、焼入れ温度が950°Cを超えると、焼入れ後に得られるマルテンサイト組織中のフェライト面積%を所望の値に確保することが困難となり、また、焼入れ歪み量も大きくなる。従って、焼入れ温度は、800~950°Cの範囲内に限定すべきである。

【0042】歯内部の組織（非浸炭部の組織）のフェライト量について

浸炭焼入れ・焼戻し後の非浸炭部である歯内部の組織のフェライト量が、10%未満ではマルテンサイトの変態歪みを十分に吸収することができず、焼入れ歪み量を小さく抑制することができない。一方、上記フェライト量が70%を超えると、歯内部において所望の強度および韌性を確保することが困難になる。従って、歯内部の組織のフェライト量を、10~70%の範囲内に限定すべきである。

る。なお、この時、マルテンサイトには残留オーステナイトおよび／またはベイナイトを一部含んでいてよい。

【0043】

【実施例】次に、この発明を、実施例により比較例と対比し、更に詳細に説明する。表1~3に示す本発明の条件（化学成分組成、 A_{c_3} 点パラメーター、理想臨界直径（ D_I ）、浸炭温度、焼入れ温度、および、浸炭焼入れ・焼戻し後の非浸炭部のフェライト面積%）の範囲内である本発明鋼No.1~31、並びに、表4および5に示す本発明の条件の範囲外である比較鋼のNo.1~21、および、表6に示す従来鋼No.1~4の供試鋼用インゴットを調製した。

【0044】

【表1】

No.	化 学 成 分 (w t %)												A_{c_3} 点 パラメーター (°C)	D_I 値 (mm)	浸炭 温度 (°C)	焼入れ 温度 (°C)	歯内部 フェライト 面積率 (%)
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al	W	V	Ti	Nb	Zr					
本 発 明 鋼	1	0.21	1.40	0.62	0.50	0.02	0.05	—	—	—	—	—	866	48	920	850	15
	2	0.12	0.63	0.43	0.26	0.52	1.75	—	—	—	—	—	851	63	860	810	13
	3	0.13	2.38	0.35	0.70	0.55	0.07	—	—	—	—	—	951	112	920	850	65
	4	0.28	1.31	1.05	0.15	0.69	0.01	—	—	—	—	—	859	147	920	850	22
	5	0.14	2.45	0.38	2.45	0.20	0.88	—	—	—	—	—	908	241	920	850	45
	6	0.15	2.48	2.45	0.05	0.03	0.35	—	—	—	—	—	873	104	920	850	28
	7	0.20	1.60	0.65	0.48	0.20	1.95	—	—	—	—	—	852	131	920	850	12
	8	0.11	0.75	1.85	0.20	0.10	0.66	1.20	—	0.36	0.01	—	807	184	920	850	44
	9	0.15	0.51	0.85	0.16	0.68	0.06	1.93	—	—	0.35	—	948	66	980	940	56
	10	0.13	1.97	0.27	1.45	0.03	1.04	0.035	—	—	—	—	897	80	920	850	36

【0045】

【表2】

No	化学成分 (wt %)												Ac ₃ 点 パラメーター (°C)	D ₁ 値 (mm)	浸炭 温度 (°C)	焼入れ 温度 (°C)	歯内部 フェライト 面積率 (%)	
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al	W	V	Ti	Nb	Zr						
本 発 明 鋼	11	0.15	2.45	0.22	2.40	0.03	0.05	—	0.65	0.28	—	—	955	238	920	850	68	
	12	0.25	0.95	0.25	1.08	0.02	0.04	—	—	0.95	—	—	940	249	920	900	58	
	13	0.33	0.55	0.45	0.02	0.35	0.06	1.20	—	—	0.78	0.46	—	903	34	920	850	40
	14	0.25	0.65	1.05	1.20	0.48	0.01	—	0.35	—	0.95	0.05	—	860	227	920	850	16
	15	0.34	1.05	0.31	0.52	0.60	0.15	0.012	0.02	0.02	—	—	853	112	920	850	31	
	16	0.22	1.45	0.68	0.45	0.58	1.95	0.87	—	—	—	—	887	224	910	840	38	
	17	0.11	1.90	1.86	0.26	0.35	0.86	—	—	—	—	—	876	184	910	840	35	
	18	0.16	0.52	0.86	0.17	0.69	0.06	1.96	—	—	—	—	933	71	910	840	53	
	19	0.22	1.45	0.76	0.75	0.21	0.35	0.021	—	—	—	—	861	127	910	840	18	
	20	0.13	1.76	0.53	1.15	0.12	1.88	—	—	—	—	—	872	140	910	840	30	

【0046】

【表3】

No	化学成分 (wt %)												Ac ₃ 点 パラメーター (°C)	D ₁ 値 (mm)	浸炭 温度 (°C)	焼入れ 温度 (°C)	歯内部 フェライト 面積率 (%)	
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al	W	V	Ti	Nb	Zr						
本 発 明 鋼	21	0.19	1.36	0.80	0.14	0.25	0.02	—	0.25	0.35	0.35	0.42	0.43	928	155	910	840	53
	22	0.20	1.45	0.68	0.05	0.51	0.25	—	—	—	—	—	—	885	71	910	840	32
	23	0.25	2.16	0.31	2.38	0.15	0.55	—	—	—	—	—	—	875	215	910	840	25
	24	0.28	2.35	0.56	0.23	0.12	1.55	0.068	0.81	0.25	0.41	—	0.23	927	226	910	840	48
	25	0.18	1.85	0.84	0.56	0.65	0.12	0.012	—	—	—	0.03	—	904	199	910	840	44
	26	0.13	0.67	1.16	0.35	0.44	1.15	1.85	0.38	0.04	0.03	—	0.04	918	141	910	840	40
	27	0.13	0.53	0.56	1.15	0.35	0.75	0.96	0.05	—	0.91	0.25	—	916	102	910	840	48
	28	0.21	1.45	0.95	0.55	0.03	0.65	—	—	0.35	—	—	0.18	884	246	910	840	36
	29	0.17	2.41	0.95	0.02	0.42	1.86	—	—	—	—	—	—	900	143	910	840	45
	30	0.16	0.56	0.63	0.78	0.02	0.02	1.85	—	—	—	—	—	910	39	910	840	43
	31	0.15	1.75	0.78	1.15	0.22	0.35	0.026	—	—	—	—	—	886	157	910	840	35

【0047】

【表4】

No	化 学 成 分 (wt %)												A_{c_3} 点 パラメーター (°C)	D ₁ 値 (mm)	浸炭 温度 (°C)	焼入れ 温度 (°C)	歯内部 フェライト 面積率 (%)	
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al	W	V	Ti	Nb	Zr						
比 較 鋼	1	0.20	1.44	0.70	0.50	0.77	0.05	—	—	—	—	—	890	166	920	850	35	
	2	0.12	2.75	0.55	0.35	0.51	0.16	—	—	—	—	—	965	107	920	850	76	
	3	0.25	0.73	0.85	1.25	0.20	0.03	—	—	0.52	1.15	—	917	492	920	850	45	
	4	0.08	0.45	0.16	0.52	0.25	1.12	0.02	—	—	—	—	0.52	864	24	920	850	34
	5	0.19	1.70	1.60	0.76	0.35	0.04	—	0.75	—	—	0.55	—	871	263	920	850	27
	6	0.37	1.56	0.36	2.56	0.03	0.25	0.13	0.25	—	—	—	832	172	900	840	5	
	7	0.27	0.55	0.25	0.35	0.25	2.15	2.10	—	1.05	0.03	—	—	997	356	980	920	81
	8	0.14	1.78	2.65	0.16	0.02	0.03	0.019	—	—	—	0.03	—	843	94	920	850	7
	9	0.24	0.69	0.72	1.15	0.21	0.03	0.86	—	0.52	1.15	—	—	957	403	910	840	65
	10	0.08	0.45	0.16	0.52	0.25	1.15	—	—	—	0.54	—	862	24	910	840	35	

【0048】

【表5】

No	化 学 成 分 (wt %)												A_{c_3} 点 パラメーター (°C)	D ₁ 値 (mm)	浸炭 温度 (°C)	焼入れ 温度 (°C)	歯内部 フェライト 面積率 (%)	
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al	W	V	Ti	Nb	Zr						
比 較 鋼	11	0.36	1.60	0.26	2.58	0.03	0.20	0.13	0.35	—	—	—	841	144	910	840	5	
	12	0.33	0.56	0.25	0.35	0.25	2.15	2.20	—	1.03	0.15	—	993	458	910	840	81	
	13	0.37	1.75	0.61	2.58	0.08	0.12	0.035	—	—	—	—	830	276	910	840	5	
	14	0.19	0.78	0.85	0.45	0.25	2.11	—	—	—	1.09	—	—	855	125	910	840	13
	15	0.37	1.75	0.56	2.61	0.10	0.14	0.034	—	—	—	—	—	831	278	910	840	5
	16	0.18	0.82	0.83	0.43	0.25	1.86	—	—	—	1.12	—	—	865	112	910	840	14
	17	0.20	0.61	1.05	0.97	0.76	0.35	2.18	—	—	—	0.61	0.18	920	259	910	840	48
	18	0.25	0.55	0.53	0.25	0.05	0.25	0.11	—	1.08	—	—	0.55	938	187	910	840	57
	19	0.37	1.87	0.76	0.49	0.22	0.28	0.025	—	—	—	—	—	854	147	910	840	12
	20	0.18	0.78	1.56	0.56	0.75	0.02	2.15	—	—	—	—	—	925	232	910	840	50
	21	0.18	2.41	1.35	1.60	0.03	0.01	—	0.76	—	—	0.58	—	894	241	910	840	36

【0049】

【表6】

No.	化学成分 (wt%)												Ac ₃ 点 パラメーター (°C)	D ₁ 値 (mm)	浸炭 温度 (°C)	焼入れ 温度 (°C)	歯内部 フェライト 面積率 (%)
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	A1	W	V	Ti	Nb	Zr					
従 来 鋼	1	0.21	0.24	1.44	0.52	0.03	0.01	—	—	—	—	—	789	57	920	850	5
	2	0.22	0.25	0.76	1.11	0.18	0.05	0.026	—	—	—	0.03	807	82	920	850	6
	3	0.21	0.26	0.56	0.51	0.17	1.68	0.025	—	—	—	—	797	62	920	850	7
	4	0.34	0.23	0.81	1.08	0.18	0.04	0.031	—	—	—	—	782	103	920	850	4

【0050】比較鋼No. 1は、Mo含有量が本発明の範囲を超えて多い鋼、比較鋼No. 2は、Si含有量が本発明の範囲を超えて多く、Ac₃点パラメーターが965°Cと高い鋼、比較鋼No. 3は、Ti含有量が本発明の範囲を超えて多く、理想臨界直径(D₁)も本発明の範囲を超えて大きい鋼、比較鋼No. 4は、C、SiおよびMn含有量が本発明の範囲を超えて低く、また理想臨界直径(D₁)も本発明の範囲を超えて小さい鋼、比較鋼No. 5は、Wが本発明の範囲を超えて多く、理想臨界直径(D₁)も本発明の範囲を超えて大きい鋼、比較鋼No. 6は、CおよびCr含有量が本発明の範囲を超えて多く、このためAc₃点パラメーターも本発明の範囲を超えて低い鋼、比較鋼No. 7は、A1、NiおよびV含有量が本発明の範囲を超えて多く、Ac₃点パラメーターが997°Cと本発明の範囲を超えて高い鋼、比較鋼No. 8は、Mn含有量が本発明の範囲を超えて多く、Ac₃点パラメーターが843°Cと本発明の範囲を超えて低い鋼である。比較鋼No. 9はTiが本発明の範囲を超えて多く、理想臨界直径(D₁)も本発明の範囲を超えて高い鋼、比較鋼No. 10はC、Si、Mnが本発明の範囲を超えて低く、また理想臨界直径(D₁)も本発明の範囲を超えて低く、またNbも高い鋼、比較鋼No. 11はC、Crが本発明の範囲を超えて多く、Ac₃点パラメーターが本発明の範囲より低い鋼、比較鋼No. 12はA1、Ni、Vが本発明の範囲を本発明の範囲を超えて多く、Ac₃点パラメーターが968°Cと高く、また理想臨界直径(D₁)も本発明の範囲を超えて高い鋼である。比較鋼No. 13はC、Crが本発明の範囲を超えて多く、Ac₃点パラメーターが本発明の範囲より低く、理想臨界直径(D₁)も本発明の範囲より高い鋼、比較鋼No. 14はNi、Tiが本発明の範囲を超えて多い鋼である。比較鋼No. 15はC、Crが本発明の範囲を超えて多く、Ac₃点パラメーターが本発明の範囲より低く、理想臨界直径(D₁)も本発明の範囲を超えて高い鋼、比較鋼No. 16はTiが本発明の範囲を超えて多い鋼である。比較鋼No. 17はMo、A1、Nbが本発明の範囲を超えて多く理想臨界直径(D₁)も本発明より大きい鋼、比較鋼No. 18はV、Zrが本発明の範囲を超えて多い鋼である。比較鋼No. 19はCが本発明の範囲を超えて高い

鋼、比較鋼No. 20はA1が本発明の範囲を超えて多い鋼、比較鋼No. 21はW、Nbが本発明の範囲を本発明の範囲を超えて多い鋼である。

【0051】従来鋼No. 1～4は、従来のJISで規定された鋼であって、従来鋼No. 1はJIS SMnC420であり、従来鋼No. 2はJIS SCM420であり、従来鋼No. 3はJIS SNCM420であり、そして、従来鋼No. 4はJIS SCM435であって、いずれもSi含有量およびAc₃点パラメーターが本発明の範囲を外れて少ない鋼である。

【0052】上記本発明鋼、比較鋼および従来鋼のインゴットを熱間圧延して、直径20～90mmの丸棒鋼を調製し、得られた丸棒鋼に対し焼準処理を施した。焼準処理後の丸棒鋼から、焼入れ歪み試験片および疲労試験片を採取した。各試験片に対し浸炭焼入れ・焼戻し処理を施した後、浸炭焼入れ歪み量、回転曲げ疲労特性および歯車疲労特性を試験した。更に、焼準後の20mmの丸棒鋼について、浸炭焼入れ・焼戻しを行なった後、引張試験片および衝撃試験片を採取し、強度および韌性を試験した。各試験方法は下記の通りである。なお、焼入れ温度での保持時間はすべて0.5Hrで油焼入れをし、また、焼戻しはすべて160°C、2Hrで行なった。

【0053】(1) 浸炭焼入れ歪み量：直径65mmの丸棒鋼から、ネイビーC試験片を調製した。図1に、ネイビーC試験片の正面図を、図2に、その側面図を示す。ネイビーC試験片1は、両図に示したように、円盤状体に開口部2および円形状空間3を有し、試験片各部の寸法は、次のとおりである。

試験片直径(a):60mm、厚さ(b):12mm、円形状空間の直径(c):34.8mm、開口部間隔(d):6mm、試験片中心と開口部円中心との距離(p):10.2mm。

【0054】浸炭焼入れ・焼戻し後の歪み量の測定は、ネイビーC試験片の開口部間隔の、浸炭焼入れ前後の変化率を測定して行なった。ネイビーC試験片による浸炭焼入れ・焼戻し後の歪み量が、1.0%を超えるような大きな歪みを示す歯車用鋼材を用いて、歯車に加工し、これを浸炭焼入れ・焼戻しをした場合には、大きな変形が生じて、機械研削により歯形修正処理をしなければならず、機械研削を省略することができない。歯形修正研削を行なわず、浸炭焼入れ・焼戻しのまま歯車として使用

を可能とするためには、ネイビーC試験片における浸炭焼入れ・焼戻し後の歪み量が、1.0%以下であることが必要であり、更に、歯車の形状・寸法等にかかわらず歯形修正研削を行なわずに使用することができるためには、0.5%以下であることが一層望ましい。

【0055】上記形状のネイビーC試験片1を各供試鋼当たり10個作製し、この試験片1に対し、浸炭・焼入れ

し、次いで、焼戻した後に、この試験片の開口部間隔(d)の、浸炭焼入れ・焼戻し前後の変化率を測定し、この値を浸炭焼入れ歪み量と定義した。表7～12に、浸炭焼入れ歪み量の試験結果、即ち、n=10の平均値およびバラツキを示す。

【0056】

【表7】

No	焼入れ歪み量(%)		粒界酸化層深さ(μm)	焼入れ不良層深さ(μm)	有効硬化層深さ(mm)	回転曲げ疲労強度(N/mm²)	歯車疲労耐久時間(Nm)	チビングの有無	歯車芯部の強度(N/mm²)	歯車芯部の衝撃値(J/cm²)
	平均	バラツキ								
本発明鋼	1	0	0	2	0	0.58	740	325	なし	980
	2	0.02	0	2	0	0.62	750	345	なし	1026
	3	0.25	0.03	1	0	0.65	765	355	なし	1085
	4	0.46	0.05	2	0	0.60	775	365	なし	1033
	5	0.81	0.08	2	0	0.76	785	375	なし	1167
	6	0.18	0.03	1	0	0.63	760	350	なし	1070
	7	0.27	0.04	2	0	0.72	770	360	なし	1125
	8	0.51	0.05	1	0	0.80	780	370	なし	1250
	9	0.02	0.01	1	0	0.61	750	340	なし	990
	10	0.03	0.01	2	0	0.56	740	330	なし	985

【0057】

【表8】

No	焼入れ歪み量(%)		粒界酸化層深さ(μm)	焼入れ不良層深さ(μm)	有効硬化層深さ(mm)	回転曲げ疲労強度(N/mm²)	歯車疲労耐久時間(Nm)	チビングの有無	歯車芯部の強度(N/mm²)	歯車芯部の衝撃値(J/cm²)
	平均	バラツキ								
本発明鋼	11	0.86	0.09	1	0	0.88	785	370	なし	1275
	12	0.95	0.12	2	0	0.95	795	380	なし	1350
	13	0	0	1	0	0.51	730	315	なし	920
	14	0.75	0.08	2	0	0.90	780	375	なし	1255
	15	0.21	0.03	1	0	0.63	760	350	なし	1080
	16	0.75	0.07	1	0	0.70	775	365	なし	1120
	17	0.51	0.06	2	0	0.81	780	375	なし	1240
	18	0.02	0	1	0	0.62	760	340	なし	960
	19	0.27	0.04	1	0	0.72	770	360	なし	1125
	20	0.42	0.04	2	0	0.60	780	380	なし	1030

【0058】

【表9】

No	焼入れ歪み量(%)		粒界酸化層深さ(μm)	焼入れ不良層深さ(μm)	有効硬化層深さ(mm)	回転曲げ疲労強度(N/mm²)	歯車疲労耐久トルク(Nm)	チップの有無	歯車芯部の強度(N/mm²)	歯車芯部の衝撃値(J/cm²)	
	平均	バラツキ									
本発明鋼	21	0.46	0.04	1	0	0.65	770	360	なし	1050	85
	22	0.03	0.01	1	0	0.58	745	335	なし	990	92
	23	0.66	0.06	2	0	0.85	770	370	なし	1250	76
	24	0.71	0.07	1	0	0.90	780	375	なし	1280	87
	25	0.65	0.06	1	0	0.80	780	370	なし	1250	95
	26	0.42	0.04	2	0	0.63	765	355	なし	1030	84
	27	0.15	0.01	1	0	0.60	750	350	なし	1060	90
	28	0.91	0.08	1	0	0.78	785	380	なし	1210	76
	29	0.45	0.05	2	0	0.72	775	360	なし	1200	90
	30	0.05	0.01	1	0	0.60	750	350	なし	1010	110
	31	0.41	0.05	2	0	0.65	775	360	なし	1030	90

【0059】

【表10】

No	焼入れ歪み量(%)		粒界酸化層深さ(μm)	焼入れ不良層深さ(μm)	有効硬化層深さ(mm)	回転曲げ疲労強度(N/mm²)	歯車疲労耐久トルク(Nm)	チップの有無	歯車芯部の強度(N/mm²)	歯車芯部の衝撲値(J/cm²)	
	平均	バラツキ									
比較鋼	1	1.25	0.25	1	0	0.75	775	365	なし	1149	81
	2	0.25	0.08	4	1	0.62	660	265	有り	860	35
	3	2.85	0.86	5	3	1.05	680	255	有り	1240	37
	4	0.04	0.02	10	7	0.41	670	245	有り	820	65
	5	1.07	0.21	2	1	0.85	700	285	有り	1280	45
	6	2.65	0.76	5	3	0.75	720	280	有り	1200	55
	7	2.56	0.81	4	2	1.25	710	290	有り	1070	45
	8	2.45	0.86	17	16	0.60	735	300	なし	1005	35
	9	2.90	0.88	6	4	1.07	685	250	有り	1230	38
	10	0.05	0.02	11	8	0.40	665	245	有り	800	66

【0060】

【表11】

No	焼入れ歪み量 (%)		粒界酸化層深さ (μm)	焼入れ不良層深さ (μm)	有効硬化層深さ (mm)	回転曲げ疲労強度 (N/mm²)	歯車疲労耐久トルク (Nm)	チッピングの有無	歯車芯部の強度 (N/mm²)	歯車芯部の衝撃値 (J/cm²)
	平均	バラツキ								
比較鋼	11	2.70	0.78	6	4	0.71	695	260	有り	1055
	12	2.55	0.76	3	2	1.16	715	285	有り	1310
	13	2.48	0.70	2	1	0.86	720	280	有り	1180
	14	0.30	0.03	5	3	0.72	695	265	有り	1060
	15	2.15	0.66	3	2	0.96	700	285	有り	1350
	16	0.26	0.03	6	5	0.66	695	265	有り	1080
	17	1.13	0.25	4	3	0.78	700	275	有り	1230
	18	0.70	0.07	14	11	0.75	710	300	有り	1080
	19	0.52	0.05	2	1	0.75	670	250	有り	1150
	20	0.95	0.10	10	9	0.90	705	290	有り	1200
	21	1.75	0.21	3	2	1.05	720	285	有り	1230

【0061】

【表12】

No	焼入れ歪み量 (%)		粒界酸化層深さ (μm)	焼入れ不良層深さ (μm)	有効硬化層深さ (mm)	回転曲げ疲労強度 (N/mm²)	歯車疲労耐久トルク (Nm)	チッピングの有無	歯車芯部の強度 (N/mm²)	歯車芯部の衝撃値 (J/cm²)
	平均	バラツキ								
従来鋼	1	2.49	0.68	15	14	0.56	690	290	有り	990
	2	2.85	0.70	18	16	0.60	685	285	有り	1080
	3	2.56	0.75	13	12	0.58	725	290	有り	980
	4	3.56	1.05	16	15	0.85	730	300	有り	1150

【0062】(2) 非浸炭部のフェライト面積%：次に、浸炭焼入れ歪み量測定済みの試験片を用いて、各供試鋼の浸炭焼入れ・焼戻し後における非浸炭部のフェライト一マルテンサイト二相組織のフェライト面積%を検鏡試験で測定し、歯内部のフェライト面積%と定義し、このフェライト面積%を表1～6に示した。

【0063】(3) 回転曲げ疲労特性：直径20mmの丸棒鋼から、平行部直径10mmの試験片を採取し、平行部にこれと直角方向の深さ1mmの切り欠き(応力集中係数 $\alpha=1.8$)を全円周にわたってつけた、回転曲げ疲労試験片を調製し、この試験片に対し、ネイビーオ試験片に対して施したと同じ条件で、浸炭焼入れ・焼戻し処理を施した後、ショットピーニング処理(アークハイド:0.6mmA、カバレージ:300%)をし、このような処理の施された試験片に対し、小野式回転曲げ疲労試験機を使用して10⁷回の回転曲げ疲労試験を行い、その回転曲げ疲労強度を

測定した。表7～9に、回転曲げ疲労強度の測定結果を併記した。

【0064】(4) 歯車疲労特性、並びに、粒界酸化層深さ、焼入れ不良層深さおよび有効硬化層深さ：直径90mmの丸棒鋼から、切削加工によって外径75mm、歯幅10mm、モジュール2.5、歯数28枚の試験用歯車を調製し、上記回転曲げ疲労特性と同じ条件で、浸炭焼入れ・焼戻しおよびショットピーニング処理を施した後、得られた試験片に対し、動力循環式歯車疲労試験機を使用し、回転数:3000rpmで歯車疲労試験を行い、繰り返し数10⁷回で破損しなかったトルク値を歯車の歯元強度として求めた。表7～9に、歯車疲労耐久トルクの試験結果、および、チッピングの有無を併記した。更に、歯車疲労試験に供した歯車から歯部を切り出して所定の試験片を調製し、浸炭焼入れにともなう粒界酸化層深さ、焼入れ不良層深さ、および、有効硬化層深さを測定し、これらを表

7~9に併記した。

【0065】(5) 強度および衝撃値：浸炭焼入れ・焼戻し後の $\varnothing 5$ mm丸棒からJIS4号引張試験片（平行部径：14mm）、および、JIS3号シャルピー試験片を調製し、引張試験および衝撃試験を行ない、それにより歯車芯部の強度、および、歯車芯部の韌性を評価した。表7~9に、強度および韌性の試験結果を併記した。

【0066】表1~6および表7~12から下記事項が明らかである。比較鋼No.1は、Mo含有量が本発明の範囲を超えて多く、このため焼入れ歪みが1.0%を超えて大きくなってしまった。比較鋼No.2は、Si含有量が本発明の範囲を超えて多く、このため十分な強度を確保することができず、回転曲げ疲労強度、歯車疲労耐久トルクが低いものである。比較鋼No.3は、Ti含有量が本発明の範囲を超えて多く、このため歯車芯部の衝撃値が低い。また理想臨界直径（D_I）も本発明の範囲を超えて大きく、焼入れ歪みが大きくなってしまった。比較鋼No.4は、C、SiおよびMn含有量が本発明の範囲を外れて少なく、また理想臨界直径（D_I）も本発明の範囲を外れて小さく、このため十分な強度を確保することができず、回転曲げ疲労強度、歯車疲労耐久トルクが低いものである。またZr含有量も本発明の範囲を外れて高く、このため歯車芯部の衝撃値も低い。

【0067】比較鋼No.5は、W含有量が本発明の範囲を超えて多く、また理想臨界直径（D_I）も本発明の範囲を外れて大きく、このため焼入れ歪みが1.0%を超えて大きくなってしまった。またNb含有量も本発明の範囲を外れて高く、このため歯車芯部の衝撃値も低い。比較鋼No.6は、CおよびCr含有量が本発明の範囲を超えて多く、このためAc₃点パラメーターが本発明の範囲を外れて低く、焼入れ歪みが大きくなってしまった。比較鋼No.7は、Al含有量が本発明の範囲を超えて多く、このため歯車芯部の衝撃値が低い。またNiおよびV含有量も本発明の範囲を超えて多く、理想臨界直径（D_I）も本発明の範囲を外れて大きく、このため焼入れ歪みが大きくなってしまった。比較鋼No.8は、Mn含有量が本発明の範囲を超えて多く、Ac₃点パラメーターが本発明の範囲を外れて低く、このためフェライト面積率も10%未満で、焼入れ歪みが大きくなってしまった。比較鋼No.9はTiが本発明の範囲を超えて多く、このため芯部の衝撃値が低い。また理想臨界直径（D_I）も本発明の範囲を外れて大きく、焼入れ歪みが大きくなってしまった。比較鋼No.10はC、Si、Mnが本発明の範囲を外れて少なく、また理想臨界直径（D_I）も本発明の範囲を外れて小さく、このため十分な強度を確保することができず、回転曲げ疲労強度、歯車疲労耐久トルクが低いものである。またNbも本発明の範囲を外れて高く、このため衝撃値も低い。

比較鋼No.11はC、Crが本発明の範囲を超えて多

く、このためAc₃点パラメーターが低く、十分なフェライトを確保することができず、また、理想臨界直径（D_I）も本発明の範囲を外れて大きく、焼入れ歪みが大きくなってしまった。比較鋼No.12はAlが本発明の範囲を超えて多く、このためAc₃点パラメーターが本発明の範囲を外れて高く、このため十分な疲労強度を確保することができなかつた。また、Niも本発明の範囲を超えて多く、理想臨界直径（D_I）が大きすぎて、焼入れ歪みが大きくなってしまった。比較鋼No.13はC、Crが本発明の範囲を超えて多く、Ac₃点パラメーターが本発明の範囲より低く、理想臨界直径（D_I）も本発明の範囲より高いため、焼入れ歪みが1%を超えて大きい。比較鋼No.14はNi、Tiが本発明の範囲を超えて多く、芯部の韌性に劣る。比較鋼No.15はC、Crが本発明の範囲を超えて多く、Ac₃点パラメーターが本発明の範囲より低く、理想臨界直径（D_I）も本発明の範囲を超えて高い鋼で、このため芯部の韌性が低く、また焼入れ歪みが1%を超えて大きくなってしまった。比較鋼No.16はTiが本発明の範囲を超えて多く、このため芯部の韌性が低く、回転曲げ疲労強度、歯車疲労耐久トルクが低いものである。比較鋼No.17はMo、Al、Nbが本発明の範囲を超えて多く、理想臨界直径（D_I）も本発明より大きく、このため芯部の韌性が低く、回転曲げ疲労強度、歯車疲労耐久トルクが低いものである。比較鋼No.18はV、Zrが本発明の範囲を超えて多く、このため芯部の韌性が低く、回転曲げ疲労強度、歯車疲労耐久トルクが低いものである。比較鋼No.19は、C含有量が本発明の範囲を外れて多いので、このため韌性が低い。比較鋼No.20は、Al含有量が本発明の範囲を超えて多く、このため韌性が低い。比較鋼No.21は、WおよびNb含有量が本発明の範囲を超えて多いので、韌性、疲労強度が低い。

【0068】また、従来鋼No.1~4は、フェライト面積率が4~7%であつて本発明の範囲を外れて少なく、粒界酸化層深さおよび焼入れ不良層深さが大で且つ焼入れ歪み量が大きかった。

【0069】これに対して、本発明鋼No.1~30は、従来鋼に比べ粒界酸化層が大幅に低減し、焼入れ不良層が全く認められず、且つ、浸炭焼入れ特性である、浸炭の有効硬化層深さ並びに歯車芯部の強度および歯車芯部の衝撃値は、従来鋼と同等ないし同等以上であり、更に、フェライトの面積率が本発明の範囲内の10~70%のフェライト・マルテンサイト二相組織となっているので、焼入れ歪み量は0~1%の範囲内と小さく、ロット内のバラツキも少なかった。図3に、本発明鋼および従来鋼の理想臨界直径（D_I）と浸炭焼入れ歪み量との関係を示す。同図より明らかなように、本発明により歯車の熱処理歪みは著しく低減され、歪みは0から従来鋼の40%程度にまで小さくなっているのが判る。

【0070】更に、明らかなように、比較鋼No.2~7

および9~21、並びに、従来鋼No.1~4は、低トルク領域で歯面にチッピングが発生した。これに対して本発明鋼No.1~30は、従来鋼よりも優れた疲労強度および歯元強度を有しており、且つ、焼入れ不良層がなく、Si含有量の増加によって、焼戻し軟化抵抗が高くなり、チッピングが発生せず、面圧強度も強化された。

【0071】

【発明の効果】この発明は、以上のように構成したので、浸炭焼入れ処理による歪み量を、従来鋼の2.4~3.6程度に比べて、0~1.0という小さい値に抑制することが可能であり、且つ、歯元強度に優れた歯車用鋼材を、通常の浸炭焼入れ処理によって得ることができ、歯形修正を施さない自動車用歯車として好適である上、浸炭焼入れ後に歯形修正を必要とする建設機械、産業機械等の歯車においても、浸炭焼入れ歪み量を減少し得るので、歯形修正を施す必要がなく、従って、加工コストの低減および生産性の向上を図ることができる低歪み型浸炭焼入れ歯車用鋼材を提供することができ、工業上多く

の優れた効果がもたらされる。

【図面の簡単な説明】

【図1】浸炭焼入れ歪み量を測定するための試験片の一例（ネイビーC試験片）を示す正面図である。

【図2】図2の側面図である。

【図3】本発明鋼および従来鋼の理想臨界直径（ D_I ）と浸炭焼入れ歪み量との関係を示すグラフである。

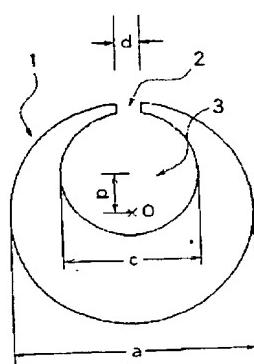
【図4】歯車の歯内部および表面部を説明する概略斜視図である。

【図5】従来の常法による浸炭処理および焼入れの熱処理パターンの例を示すグラフである。

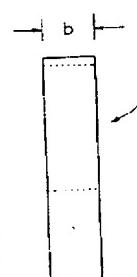
【符号の説明】

- 1 ネイビーC試験片
- 2 開口部
- 3 円形状空間
- 4 歯内部（非浸炭部）
- 5 歯表面部（浸炭部）
- 6 歯車芯部

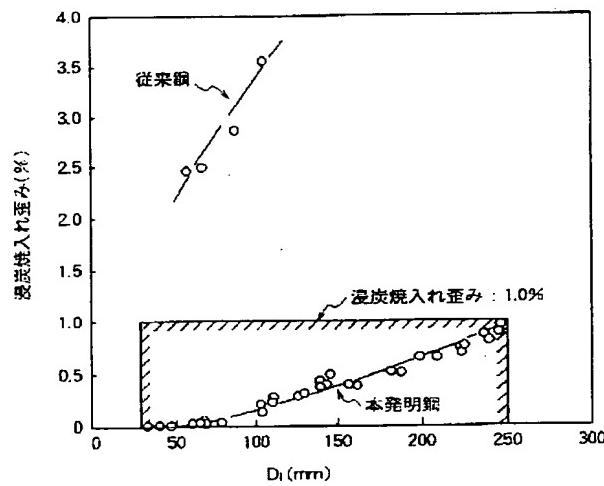
【図1】



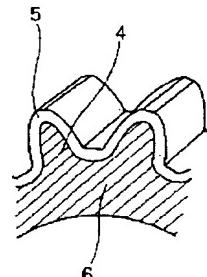
【図2】



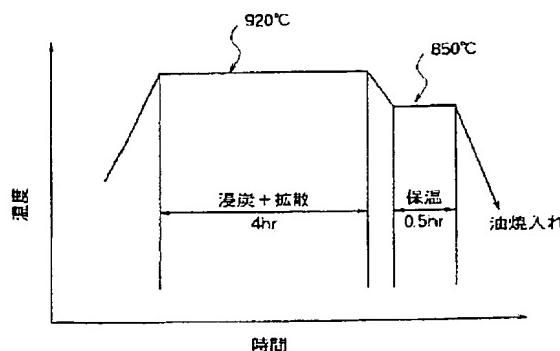
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(51)Int.C1. ^e	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
C 2 2 C	38/50		C 2 2 C	38/50
	38/58			38/58
C 2 3 C	8/22		C 2 3 C	8/22
F 1 6 H	55/06		F 1 6 H	55/06